مقایسه تحلیل کشسان، مومسان و کشسان- مومسان شبکه‌های عمود برهم تک لایه با درنظر گرفتن تغییرمکان‌های بزرگ وکوچک با الگوسازی رفتار غیر خطی مصالح به دو صورت واقعی و با مفصل‌های مومسان*

(یادداشت پژوهشی)

محسن زاهری [۱]		محمدعلی برخورداری [۲]

چکیده *با رشد روز افزون استفاده از سازه‌های فضاکار، نیاز به تحلیل و طراحی دقیق این سازه‌ها بیش از پیش احساس می‌شود. شبکه‌های تک لایه مستوی از جمله سازه‌های فضاکار می‌باشند که در عرشه پل‌ها و کشتی‌ها و پوشش سقف‌ها با دهانه‌های کوتاه به کار می‌روند. با وجود روش‌های گوناگون پیشنهادی برای تحلیل سازه‌ها و رابطه‌های ساده و مشخصی که برای تحلیل و طراحی شبکه‌های تک لایه با روش مومسان به دست می‌آیند، باید برای تحلیل صحیح و دقیق‌تر سازه‌ها به اثر و نقش هریک از فرضیات در نتیجه‌های تحلیل آگاه بود. در این نوشته نخست به تحلیل و طراحی مومسان شبکه‌های مستوی با روش حل کران بالا و روش حل کران پایین پرداخته شد. این کار به یافتن رابطه‌های بسته‌ای منجر شد که با کمک آن‌ها تحلیل‌های غیر خطی با در نظر گرفتن الگوی رفتاری غیرخطی مصالح و غیرخطی هندسی انجام پذیرفت. در ادامه، شبکه‌های تک لایه بدون درنر گرفتن رفتار غیرخطی با برنامه‌های SAP و ABAQUS تحلیل شدند و نتیجه‌ها با یکدیگر و با نتیجه‌های تحلیل مومسان مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس اثر فرض‌های ساده کننده در تحلیل شبکه‌ها بررسی و موردهای کاربرد مجاز هریک از تحلیل‌ها ارائه شد.*

واژه‌های کلیدی شبکه عمود بر هم تک لایه، تحلیل مومسان، تغییرمکان‌های بزرگ، مفصل‌های مومسان متمرکز

Comparing Analysis of Elastic, Plastic and Elastoplastic of Single-layer Orthogonal Grids with Regards to both Large and Small Displacements with Nonlinearity Behavior of Material Modeling in both Real Behavior and using Plastic Hinges

M. Zaheri		M. A. Barkhordari

Abstract *By the growing interest in space structure using , the need for precise analysis and design of these structures is more than ever sensed. plane single-layer orthogonal grids are types of space structures which used in the bridge decks, ships and covering of the ceilings with short opening. In the aspect of the presence the different methods to analyze these structures and in the spite of the determined and simple relations are obtained to analyze and design single layer grids by plastic method, it is necessary to aware of the effect of theories and also the role of each theory in the result of the analysis in order to acquire a precise and accurate analysis of the structure. First, in this paper, analysis and design of plane grids has been stated by the means of upper bound and lower bound methods, which led to find closed from relationships Then, nonlinear analysis (elastoplastic) is carried out by considering different kinds of material modeling methods and geometric nonlinear behavior.The analysis is also carried out without considering each nonlinear effects in single layer grids by SAP and ABAQUS softwares. The results are compared to the each other and the plastic analysis. the effects of the simplifying hypothesises in the analysis results are investigated and the allowable applications of each analysis method described.*

Key Words Single-Layer Orthogonal Grid, Plastic Analysis, Large Displacements, Lumped Plastic Hinges

---

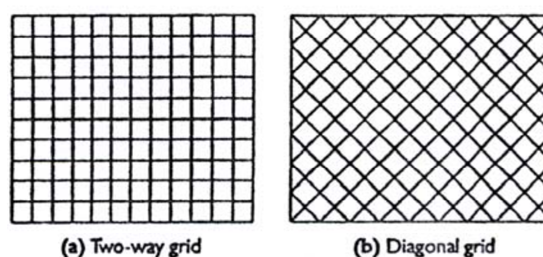
* نسخه‌ی اول مقاله در تاریخ ۸۷/۹/۱۰ و نسخه‌ی نهایی آن در تاریخ ۸۹/۹/۲۸ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) نویسنده‌ی مسؤول، کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

(۲) دانشیار، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

مقدمه

سازه با رفتار و سازوکار انتقال بار سه بعدی، بـه گونـه‌ای که نتوان رفتار کلی آنرا با یک یا چند مجموعه دو بعدی الگوسازی کرد؛ سازه فضاکار(Space Structure) می‌نامند [1]. شـبکه‌هـا در گـروه سـازه‌هـای فضـاکار، مشـبک دسته‌بندی می‌شوند [2]. بیشتر شـبکه‌هـا شـامل یـک یـا چندین لایه موازی از اجزا می‌باشـند، کـه از نظـر شـمار لایه‌ها به شبکه‌های یک لایه، دو لایه و سـه لایـه تقسـیم می‌شوند [3-2]. ساده‌ترین و باب‌ترین گونـه شـبکه‌هـای تخت، شبکه تک لایه با نقش دو راهه و شبکه تک لایه با نقش کج می‌باشند، که در شکل (۱) به نمایش درآمده‌اند.



شکل ۱ شبکه‌های تک لایه. a) شبکه با نقش دو راهه، b) شبکه با نقش کج

در این پژوهش، ابتدا تحلیل مومسان شبکه‌ها مطرح شده است و سپس به تحلیل شبکه‌ها بـا در نظـر گـرفتن رفتار غیرخطی پرداخته شد. رفتار غیرخطی شـامل تغییـر مکان‌های بزرگ و کوچک در حالت کشسان و کشسـان- مومسـان و در حالـت الگوسـازی واقعـی رفتـار مصـالح فـولادی بـا کمـک نظریـه مومسـانی گسـترده مـی‌شـود. همچنین برای در نظر گرفتن تاثیر الگوسـازی رفتـار غیـر خطی مصالح عضوها، از مفصل‌های مومسان متمرکز بهره گرفته شد و نتیجه‌ها با یکدیگر و بـا نتیجـه‌هـای تحلیـل مومسان مقایسه شدند. در پایان، موردهای کـاربرد مجـاز هر گونه از تحلیل‌ها، ارائه شد.

تحلیل مومسان شبکه‌ها

روش تحلیـل و طراحـی مومسـان، یکـی از روش‌هـای شاخص در تحلیل و طراحی سازه‌هـا مـی‌باشـد. در ایـن روش تحلیل، همـه تـلاش‌هـا بـا فـرض رفتـار صـلب- مومسان کامل عضوها و به کمک تعریف مفصل مومسـان متمرکز و بررسی سـازه در حالـت سـازوکار فروریـزش، صورت می‌گیرند. در سازه‌هایی که در شرایط فروریـزش قرار دارند؛ پخش لنگر خمشـی بایـد سـه شـرط اساسـی تسلیم، تعادل و سـازوکار را همزمـان بـرآورده سـازد. در عمل دستیابی بـه چنـین پخشـی دشـوار اسـت. بنـابراین روش‌های تقریبی شـامل روش کـران بـالا و روش کـران پایین برای پیدا کردن بخشی از پاسخ دقیق به کار می‌روند [6-4].

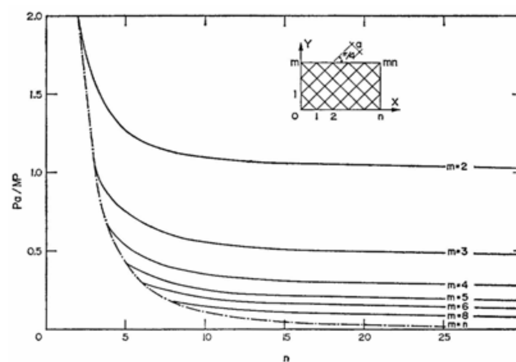
برای تحلیل مومسـان شـبکه‌هـا، نخسـت از روش تفاضل محدود برای رابطه‌سازی و تشکیل معادلات تعادل استفاده می‌شود [7]. سپس شبکه‌ها به دو صـورت، روش حل کران بالا و روش حل کران پایین حل مـی‌شـوند. در صـورت برابـری نتیجـه‌هـای حاصـل از دو روش حـل مختلف، مشخص می‌شود که پاسخ حاصل یکتا است [8-12]. همچنین بـا پخـش لنگـر خمشـی بـه دسـت آمـده، نیروهای برشی اعضـا و واکـنش تکیـه‌گـاه‌هـا بـه دسـت می‌آیند.

در شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه و زیراثر بار یکنواخت، سازوکار فروریـزش و الگـوی محـل تشـکیل مفصل‌های مومسان متمرکز به فـرد یـا زوج بـودن شـمار دهانه‌ها و گیردار یا مفصلی بودن تکیه‌گاه‌ها بسـتگی دارد [13]. در روش حل کران پایین، پخش لنگر خمشی‌ای در نظر گرفته می‌شود که بتوانـد معـادلات تعـادل و شـرایط مرزی را بـرآورد. سـپس بـا جـایگزین کـردن لنگرهـای خمشی در معادلات تعادل شبکه، مقدار بار فروریزش بـه دست می‌آید. در روش حل کران بالا، بـا در نظـر گـرفتن الگوی سازوکار فروریزش شـبکه و تشـکیل معادلـه کـار مجازی، بار فروریزش به دست می‌آید. از آنجا که پاسـخ رابطه‌های حاصل از روش حل کران بالا، درست برابر بـا پاسخ به دست آمده از روش حل کران پایین است؛ پاسخ یکتا می‌باشد. برای توضیحات بیشتر مـی‌تـوان بـه مرجـع [13] مراجعه کرد.

در شبکه‌های تک لایه با نقش کج با تکیه‌گـاه‌هـای مفصلی و زیر بار یکنواخت، با توجه به پیکربندی شـمار

دهانه‌ها در دو جهت مختلف، ۵ گونه مود فروریزش متفاوت حاصل می‌شود و برای هر مود، رابطه بار فروریزش یگانه‌ای به دست می‌آید [13-12].

شکل (۲) نمودار رابطه فروریختگی شبکه‌های کج راه را در پیکربندی‌های مختلف شمار دهانه‌های n,m نشان می‌دهد. در این نمودار به نظر می‌رسد که ضریب فروریختگی $\frac{pa}{M_p}$ در محدوده $0 < \frac{pa}{M_p} \leq 2$ می‌باشد و برای هر مقدار m یک مقدار معین بیشینه برای n وجود دارد که برای nهای بیشتر، ضریب فروریختگی، ثابت باقی می‌ماند و مجانب خطوط برای مقدارهای m، برابر $(\frac{2}{m})^2$ است.



شکل ۲ تغییر ثابت فروریزش ($\frac{pa}{M_p}$) با شمار دهانه‌های m و n در دو جهت، در شبکه‌های تک لایه کج راه

تحلیل خطی و غیرخطی شبکه‌ها

رفتار غیرخطی سازه‌ای در حالت عمومی می‌تواند ناشی از اثرهای غیرخطی مصالح، اثرهای غیرخطی هندسی و اثرهای تغییرشکل‌های بزرگ ناشی از کرنش‌های بزرگ باشد [14]. در ادامه تحلیل کشسان و کشسان- مومسان شبکه‌های تک لایه فولادی با روش اجزای محدود [15] در حالت رفتار غیرخطی هندسی (اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ) و یا با چشم پوشی از این اثرها انجام شده است. سپس نتیجه‌های حاصل، با یکدیگر و با نتیجه‌های تحلیل مومسان، مورد مقایسه قرار گرفته و برتری‌ها و کاستی‌های هرگونه از تحلیل‌ها ارائه شده است.

ویژگی‌های الگوهای ساخته شده و روند انجام تحلیل

شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه با ترکیب شمار ۲ تا ۱۰ دهانه در دو جهت و با شرایط تکیه‌گاهی مختلف، همچنین شبکه‌های با نقش کج با ترکیب شمار ۲ تا ۱۲ دهانه در دو جهت و با تکیه‌گاه مفصلی در چهار طرف، الگوسازی شده است. طول دهانه شبکه‌ها ۳m است و مقطع‌های شبکه IPE۱۸ می‌باشد. ویژگی‌های مصالح فولادی st-37 می باشند.

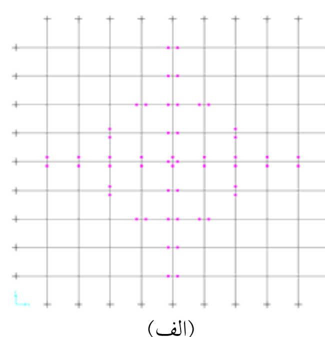
مقایسه نتیجه‌های تحلیل مومسان با نتیجه‌های حاصل از برنامه SAP

با توجه به آنچه پیشتر بیان شد، تحلیل مومسان بر پایه فرض رفتار صلب- مومسان کامل مفصل‌های مومسان، استوار است و رفتار سازه را در حالت فروریزش مورد بررسی قرار می‌دهد. ولی در صورت انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی با برنامه SAP که از نظریه مومسانی متمرکز و رفتار کشسان- مومسان کامل مفصل‌های مومسان متمرکز، استفاده می‌کند؛ تاریخچه رفتار سازه تا رسیدن به حد فروریزش، قابل رهگیری می‌باشد. در ادامه نتیجه‌های بار فروریزش و محل تشکیل مفصل‌های مومسان، در هر یک از تحلیل‌های مورد بحث بیان شده است.

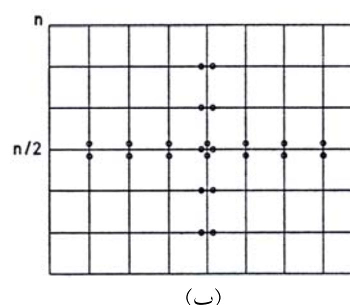
با توجه به اینکه مقدارهای $\frac{pa}{M_p}$ حاصل از تحلیل شبکه‌های تک لایه، مستقل از طول دهانه‌ها و مقطع مورد استفاده هستند؛ مقدارهای $\frac{pa}{M_p}$ حاصل از تحلیل مومسان با مقدارهای به دست آمده از برنامه SAP، مورد مقایسه قرار می‌گیرند. شبکه‌های به کار رفته شامل شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه با شمار دهانه‌های مختلف و با تکیه‌گاه‌های مفصلی در چهار طرف و شبکه‌های با تکیه‌گاه‌های گیردار در چهارطرف و شبکه‌های تک لایه کج راه و با تکیه‌گاه‌های مفصلی می‌باشند. با مقایسه نتیجه‌ها مشاهده می‌شود که در همه شبکه‌ها مقدارهای $\frac{pa}{M_p}$ حاصل از تحلیل مومسان، با نتیجه‌های برنامه SAP هماهنگی خوبی دارند. برای آگاهی بیشتر می‌توان به

مرجع [13] مراجعه کرد.

برای یک نمونـه، در شـکل‌هـای (۳) و (٤) محـل تشکیل مفصل‌های مومسان متمرکز، در تحلیل مومسـان و در تحلیل کشسان- مومسان به کمـک برنامـه SAP و بـا فرض رفتار کشسان- مومسان کامل مفصل‌های مومسـان، در شبکه‌های تک لایه نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، نتیجه‌هـای حاصـل از برنامه SAP، بـا فرضیات تحلیل مومسـان سـازگار نیسـت و فـرض رفتـار صلب عضوهای بین مفصل‌های مومسان، درست نمی‌باشد؛ بنابراین معادله کار مجازی را برای شبکه‌های با موقعیـت مفصل‌های حاصل از برنامه SAP، نمی‌توان نوشت.

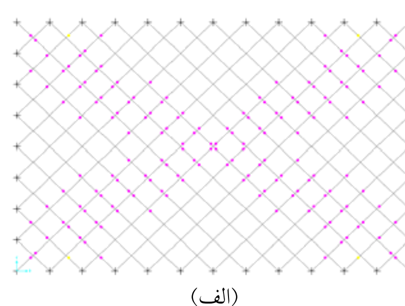


(الف)

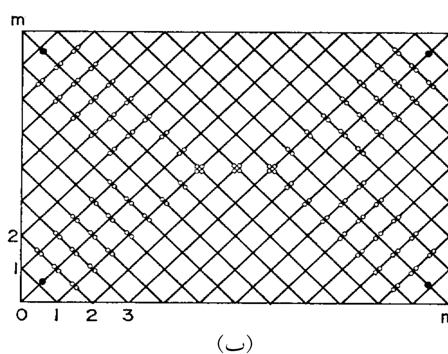


(ب)

شکل ۳ محل تشکیل مفصل‌های مومسان در شبکه با نقش دو راهه با تکیه‌گاه‌های مفصلی و به شمار ۱۰ در۱۰ دهانه. الف) نتیجه‌های تحلیل SAP ، ب) نتیجه‌های تحلیل مومسان (مشابه شبکه ۸ در ۸)



(الف)



(ب)

شکل ٤ محل تشکیل مفصل‌های مومسان در شبکه کج راه با شمار ۸ در ۱۲ دهانه. الف) نتیجه‌های تحلیل SAP، ب) نتیجه‌های تحلیل مومسان

مقایسه نتیجه‌های تحلیل حاصل از برنامه‌های SAP و ABAQUS

با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی با کمک الگوسازی غیـر خطی مصالح و وارد کردن اثـر تغییـرمکـان‌هـای بـزرگ، تحلیـل شـبکه‌هـا دقیـق‌تـر و بهتـر صـورت مـی‌پـذیرد. در شکل‌های (٥) و (٦) نمونه‌ای از نتیجه‌های حاصل از تحلیل شبکه‌ها، به کمک برنامه‌های ABAQUS و SAP ارائه شده است. این نمونه‌ها بیانگر بار وارد بر گره‌های شـبکه نسـبت به تغییرمکان گره میانی شبکه می‌باشند.

تحلیل شبکه‌های تک لایه با برنامـه ABAQUS در دو حالت بدون در نظر گرفتن تغییرمکان‌های بزرگ و بـا در نظر گرفتن تغییرمکان‌های بزرگ، صورت گرفته است. در هر دو حالت: الگوسازی مصـالح بـا نظریـه مومسـانی گسترده و به صورت الگوسازی رفتار تنش– کرنش فولاد می‌باشد. در این برنامه از المان تیر تیموشینکو با مقطع باز و شـبکه بنـدی ۲/٥ cm اسـتفاده شـده اسـت. تحلیـل استاتیکی غیرخطی در ایـن برنامـه از نـوع Riks انتخـاب شده اسـت. در ایـن حالـت از روش طـول کمـان اسـتفاده می‌شود که می‌تواند از نقطه‌های حدی به خوبی عبور کند.

شبکه موردنظر با برنامه SAP بدون در نظـر گـرفتن تغییرمکان‌های بزرگ تحلیل شده در این برنامه، رفتـار غیـر خطی مصالح عضوها با مفصل‌های مومسان متمرکز و چشـم پوشی نمودن از سخت‌شدگی دوباره مصالح فولادی بعـد از پله تسلیم، به صورت کشسان- مومسان کامل در نظر گرفتـه

شده است.

نتیجه‌های تحلیل برای شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه و با شمار دهانه دو در دو، شش در شش و پنج در هفت در دو حالت با تکیه‌گاه‌های مفصلی و تکیه‌گاه‌های گیردار و برای شبکه‌های با نقش کج با شمار دهانه هشت در هشت با تکیه‌گاه‌های مفصلی در شکل‌های (۵) و (٦) آورده شده است.

مقایسه نتیجه‌های تحلیل حاصل از برنامه‌های SAP و ABAQUS در حالت رفتار کشسان مصالح

تحلیل‌های انجام شده در حالت رفتار کشسان مصالح و تا رسیدن تنش اولین نقطه از شبکه به تنش تسلیم ($F_y = 2400 \frac{kgF}{cm^2}$) مطابق شکل‌های (۵) رهگیری شده است.

همان‌گونه که در شکل‌های (۵، الف- ب) ملاحظه می‌شود؛ در حالت تحلیل کشسان شبکه‌های با شمار دهانه کم، نتیجه‌های تحلیل برنامهSAP وبرنامه ABAQUS در هر دو حالت، تحلیل با در نظر گرفتن تغییر مکان‌های بزرگ و تحلیل بدون در نظر گرفتن تغییر مکان‌های بزرگ بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. بنابه شکل‌های (۵، ج- ه)، در حالت تحلیل کشسان شبکه‌های با شمار دهانه زیاد و دارای تکیه‌گاه‌های گیردار، نتیجه‌های تحلیل با درنظرگرفتن تغییرمکان بزرگ به صورت تقریبی برابر با نتیجه‌های تحلیل با در نظر گرفتن تغییرمکان کوچک است ولی همین نتیجه‌ها در شبکه‌های با شمار دهانه زیاد و دارای تکیه‌گاه‌های مفصلی با هم اختلاف زیادی دارند.

مقایسه نتیجه‌های تحلیل حاصل از برنامه‌های SAP و ABAQUS در حالت رفتار کشسان- مومسان مصالح

در تحلیل به کمک برنامه ABAQUS، الگوسازی مصالح به صورت الگوی رفتار تنش- کرنش فولاد تا نقطه تنش بیشینه ($F_u = 3700 \frac{kgF}{cm^2}$) می‌باشد و نتیجه‌های تحلیل شبکه تا رسیدن اولین نقطه از شبکه به تنش بیشینه، رهگیری شده است. تحلیل‌های شبکه‌های مورد بحث با برنامه SAP نیز تا تشکیل سازوکار فروریزش رهگیری و اثرهای غیرخطی مصالح با مفصل‌های متمرکز، الگوسازی شده اند. نتیجه‌های این تحلیل‌ها در شکل (٦) به نمایش درآمده‌اند.

در الگوسازی رفتار غیرخطی مصالح، با نظریه مومسانی گسترده، امکان گسترش رفتار غیرخطی در راستای طول عضو و در سطح مقطع وجود دارد.

در حالت کاربرد نظریه مومسانی متمرکز، رفتار غیرخطی عضو ناشی از اثرهای غیرخطی مصالح، با مفصل‌های مومسان متمرکز با طول صفر (در دو انتهای عضو در عضوهای خمشی) تعریف شده و برای هر یک از مفصل‌ها، رفتار لنگر- دوران را بنابه فرضیات این پژوهش، می‌توان تعریف کرد. از این رو، مانند شکل (٦) در حالتی که از اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ چشم پوشی می‌شود؛ نتیجه‌های حاصل از برنامه SAP، که از نظریه مومسانی متمرکز بهره می‌گیرد؛ نیرو و به ویژه تغییرمکان شبکه‌ها را در حالت سازوکار، بسیار کمتر از نتیجه‌های برنامه ABAQUS که از نظریه مومسانی گسترده استفاده می‌کند؛ نتیجه می‌دهد. این امر ناشی از فرضیات ساده‌کننده‌ای از جمله ضریب شکل برابر یک و چشم پوشی از اثر سخت‌شدگی و پس از سخت‌شدگی مصالح، توانایی تحمل تغییرشکل‌های دورانی زیاد در محل مفصل‌ها، فرض تغییرمکان‌های کوچک و در نظر نگرفتن نیروی محوری در اعضا، الگوسازی رفتار غیر خطی مصالح با مفصل متمرکز و اندرکنش نداشتن نیروهای داخلی با یکدیگر در محل مفصل متمرکز می‌باشند.

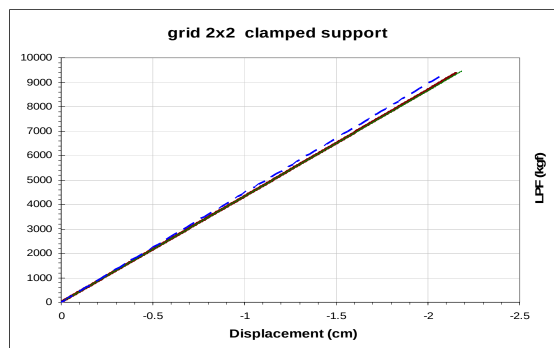
همان طور که در شکل (٦)، مشاهده می‌شود؛ اثرهای پله تسلیم مصالح فولادی، تنها در شبکه‌های با شمار دهانه کم به روشنی دیده می‌شود.

در حالت تحلیل کشسان- مومسان، نتیجه‌های تحلیل برنامه ABAQUS با در نظر گرفتن اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ، اختلاف چشم گیری با نتیجه‌های به دست آمده از برنامه SAP و برنامه ABAQUS هنگام

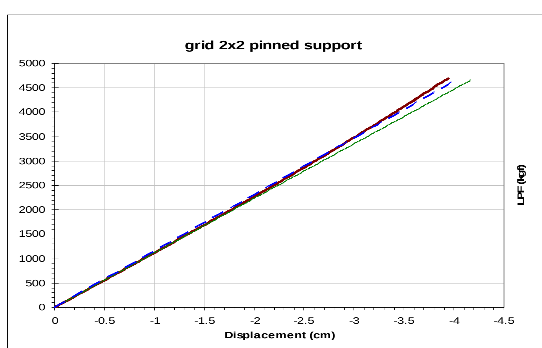
چشم پوشی از تغییرشکل‌های بزرگ، دارد.

در شرایط الگوسازی رفتار غیرخطی مصالح با نظریه مومسانی گسترده و به کمک برنامه ABAQUS، در حالتی که اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ در نظر گرفته می‌شود؛ نیروها بسیار بزرگتر و تغییرمکان‌ها بسیار کمتر از حالتی که از اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ چشم پوشی می‌شود؛ به دست می‌آید. این امر در شبکه‌های با شمار دهانه زیادتر و شبکه‌های با تکیه‌گاه‌های مفصلی چشم گیرتر است.

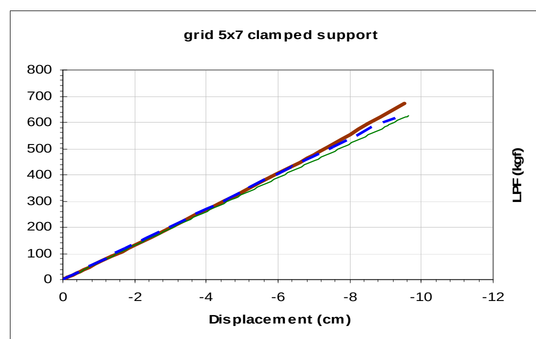
شبکه‌های تک لایه برای روبرو شدن با بارهای جانبی دارای دو جبهه می‌باشند. جبهه اول، مؤلفه خمشی تیرها است. با افزایش تغییرشکل شبکه، نیروهای محوری به صورت کشش نیز وارد کار می‌شود. با وارد کردن اثر تغییرمکان‌های بزرگ در تحلیل، اثر نیروهای محوری برای تحمل بار قائم در نظر گرفته می‌شود.



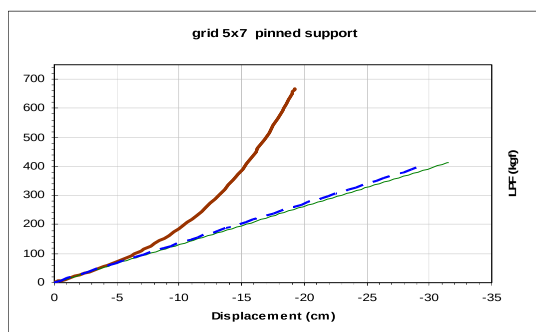
(الف)



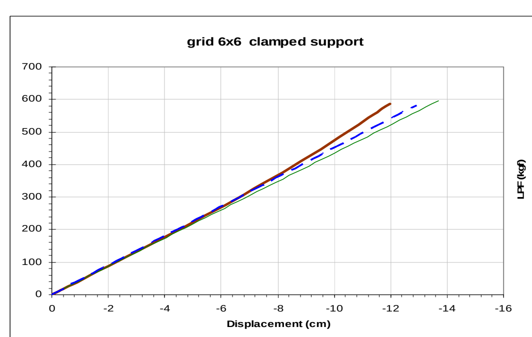
(ب)



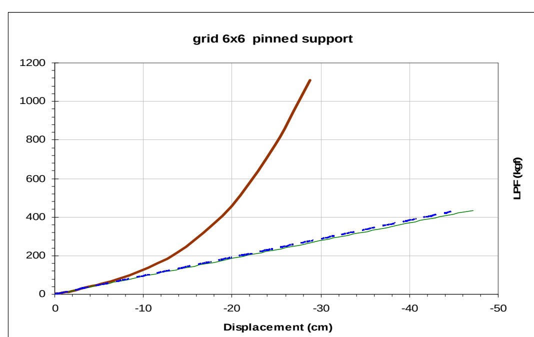
(ج)



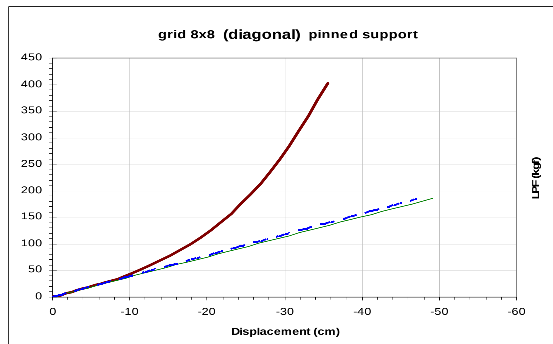
(د)

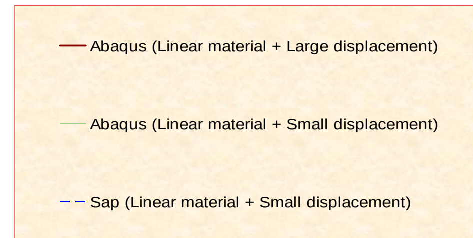


(ه)



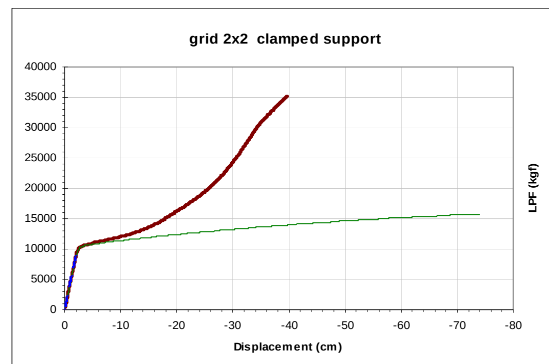
(و)



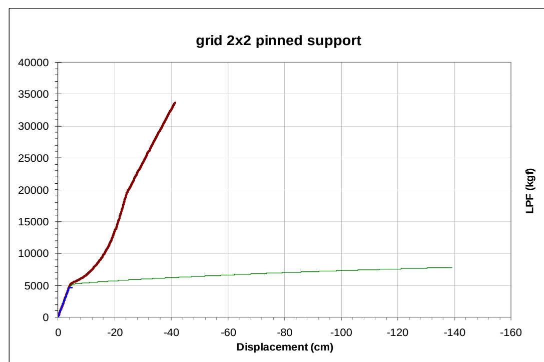


(ز)

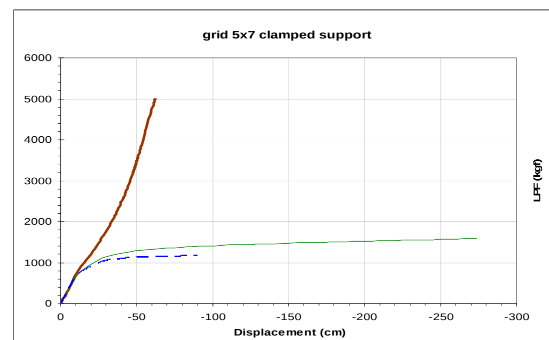
شکل ۵ نمودار نیرو- تغییرمکان شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه در حالت رفتار خطی مصالح. الف) شمار ۲ در ۲ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، ب) شمار ۲ در ۲ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ج) شمار ۵ در ۷ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، د) شمار ۵ در ۷ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ه) شمار ٦ در ٦ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، و) شمار ٦ در ٦ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ز) شبکه تک لایه با نقش کج با شمار ۸ در ۸ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی



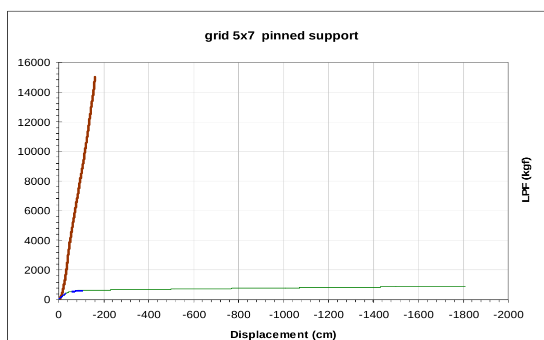
(الف)



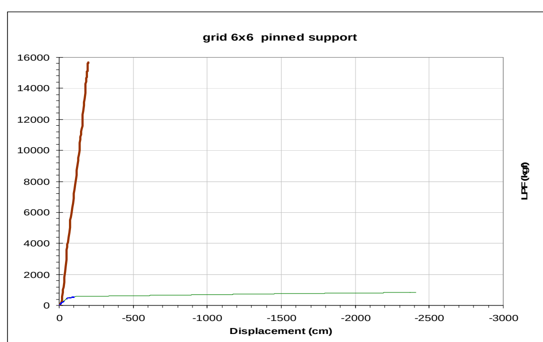
(ب)



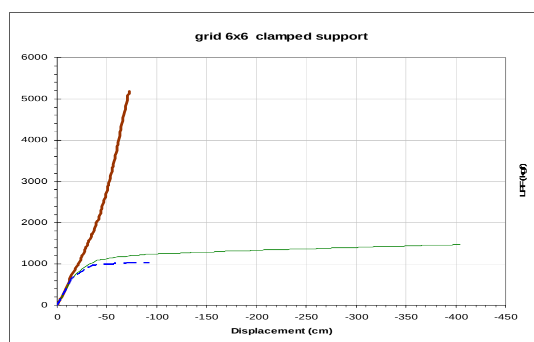
(ج)



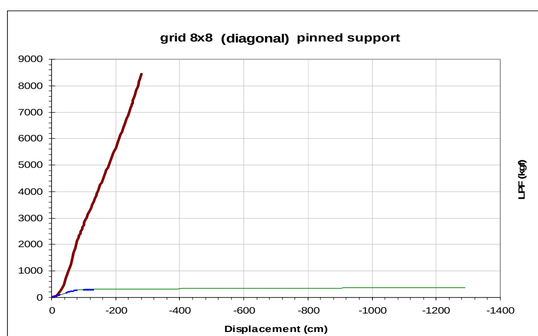
(د)



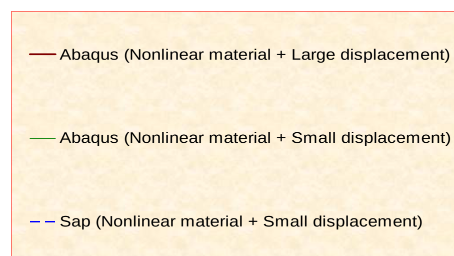
(و)



(ه)



(ز)



شکل ٦ نمودار نیرو- تغییرمکان شبکه‌های تک لایه با نقش دو راهه در حالت رفتار غیرخطی مصالح. الف) شمار ۲ در ۲ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، ب) شمار ۲ در ۲ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ج) شمار ۵ در ۷ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، د) شمار ۵ در ۷ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ه) شمار ٦ در ٦ دهانه و تکیه‌گاه‌های گیردار، و) شمار ٦ در ٦ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی، ز) شبکه تک لایه کج راه با شمار ۸ در ۸ دهانه و تکیه‌گاه‌های مفصلی

نتیجه‌گیری

با توجه به فرضیات ساده‌کننده تحلیل‌های مختلف شبکه‌های تک لایه و توانایی هر یک از برنامه‌های مورد بحث، می‌توان به نتیجه‌های زیر اشاره کرد:

۱. نتیجه‌های به دست آمده برای بار فروریزش در تحلیل مومسان شبکه‌ها، با نتیجه‌های تحلیل جزء محدود به کمک برنامه SAP که از نظریه مومسانی متمرکز و رفتار کشسان- مومسان کامل در مفصل‌های مومسان استفاده می‌کند، هماهنگی خوبی دارند.

۲. در حالتی که اثرهای غیرخطی مصالح در شبکه‌های تک لایه، با مفصل‌های مومسان متمرکز به صورت رفتار کشسان- مومسان کامل، الگوسازی شود، در شبکه‌های با نقش دو راهه و با شمار دهانه‌های زیاد و یا شبکه‌های کج راه، بیشترین محل تشکیل مفصل‌های مومسان در حالت فروریختگی به صورتی خواهد بود؛ که فرض خطی بودن بین مفصل‌های مومسان (رفتار صلب اعضای بین مفصل‌های مومسان) و سازگاری هندسه تغییرشکل یافته براساس آن، درست نیست و نمی‌توان معادله کار مجازی را در این حالت نوشت. به عبارت دیگر محل تشکیل مفصل‌های مومسان در تحلیل مومسان و تحلیل مورد بحث مانند همدیگر نمی‌باشند. همچنین نیروهای تکیه‌گاه‌های گوشه، با تحلیل مومسان درست به دست نمی‌آیند.

۳. در تحلیل کشسان- مومسان با فرض رفتار کشسان- مومسان کامل مفصل‌های مومسان متمرکز و تحلیل مومسان شبکه‌های تک لایه به ویژه در شبکه‌های با

شمار دهانه‌های زیادتر و شبکه‌های با تکیه‌گاه‌های مفصلی، به دلیل فرضیات ساده کننده (اشاره شده در متن مقاله)، نتیجه‌ها اختلاف زیادی با حالت‌های الگوسازی واقعی‌تر که اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ در نظر گرفته شده و از نظریه مومسانی گسترده به کار می‌رود؛ دارند.

٤. در حالت تحلیل کشسان شبکه‌های با شمار دهانه کم و یا در شبکه‌های با شمار دهانه زیاد و دارای تکیه‌گاه‌های گیردار، می‌توان از اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ چشم پوشید؛ ولی در تحلیل کشسان شبکه‌های با شمار دهانه زیاد و دارای تکیه‌گاه‌های مفصلی، اثرهای تغییرمکان‌های بزرگ در نظر گرفته شود.

۵. با توجه به فرضیات تحلیل، در حالت چشم پوشی از تغییرمکان‌های بزرگ، نتیجه‌های به دست آمده از برنامه SAP به دلیل کاربرد نظریه مومسانی متمرکز، نسبت به برنامه ABAQUS که از نظریه مومسانی گسترده استفاده می‌کند؛ نیرو و به ویژه تغییرمکان را کمتر از مقدار واقعی ارائه می‌دهد.

٦. در شرایط الگوسازی رفتار غیرخطی مصالح با نظریه مومسانی گسترده؛ هنگام در نظر گرفتن اثر تغییرمکان‌های بزرگ، نیروها بسیار بزرگتر و تغییرمکان‌ها بسیار کمتر از هنگام چشم پوشی از اثر تغییرمکان‌های بزرگ، به دست می‌آید. این امر در شبکه‌های با شمار دهانه زیادتر و شبکه‌های با تکیه‌گاه‌های مفصلی چشم گیرتر است.

۷. در تحلیل کشسان- مومسان شبکه‌ها، باید اثر تغییرمکان‌های بزرگ را در نظر گرفت و بهتر است به جای الگوسازی رفتار غیر خطی مصالح با نظریه مومسانی متمرکز و کاربرد مفصل‌های مومسان متمرکز، از نظریه مومسانی گسترده و تعریف نمودار تنش- کرنش غیرخطی مصالح در اجزای سازه‌ای، بهره گرفت.

به دلیل اهمیت صلبیت اتصالات و اثرگذاری آن بر رفتار شبکه‌های تک لایه، پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آینده، چگونگی اثرگذاری صلبیت اتصالات بر رفتار شبکه‌ها، با کمک الگوسازی سه بعدی اجزای اتصال و یا به روش تعریف درصد صلبیت اتصال و رفتار لنگر- دوران خمشی اتصالات، بررسی شود.

مراجع

1. Parke, G. A. and Disney, P., "*Space Structures*", Thomas Telford, (2002).
2. Nooshin, H., "Formex configuration processing in structural engineering", *Elsevier Applied Science*, London, (1984).
3. Makowski, Z. S., "Analysis, design and construction of double layer grids", *Elsevier Applied Science*, London, (1985).
4. Baker, J. F. and Heyman, J., "*Plastic design of frames,* I *-Fundamentals*", Cambridge university press, Cambridge, UK, (1969).
5. Heyman, J., "*Plastic design of frames,* II *-Application*", Cambridge university press, Cambridge, UK, (1971).
6. Horne, M. R., "*Plastic design of frames*", Nelson, London, (1971).
7. Mitchell, A. R. and Griffiths, D., "*The finite difference method in partial differential equations*", John Wiley and Sons, (1980).

8. Grigorian, M., "A lower-bound solution to the collapse of uniform rectangular grids on simple supports", *Int. J. Mech. Sci*., 13, pp. 755-761, (1971).
9. Grigorian, M., "Plastic design of regular orthotropic grids with two adjacent edges fixed, free or hinged", *Journal of Strain Analysis*, 7(2), pp. 279-284, (1972).
10. Grigorian, M., "The plastic design of orthotropic grids with fixed supports", *Int. J. Mech. Sci*., 14, pp. 197-203, (1972).
11. Grigorian, M. and Yaghmai, S., "A theorem for the plastic design of regular twistless grids under continuous transverse loading", *Int. J. Solids Structures*, 9, pp. 1421-1430, (1973).
12. Grigorian, M. and Kashani, K. A., "Plastic design of uniformly loaded rectangular diagonal grids on simple supports", *Building and Environment*, 1, pp. 31-138, (1976).
13. Barkhordari, M. A. and Zaheri, M., "Comparing analysis of plastic and elastoplastic of single-layer orthogonal grids with regards to nonlinearity behavior of material modeling in using lumped plastic hinges", *8^th^ int. congress on civil engineering*, shiraz, iran, (2009).
14. Bathe, K. J. and Kojic, M., "*Inelastic Analysis of Solids and Structures*", Springer, (2005).
15. Bathe, K. J., "*Finite element procedures*", Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1996).